

Das Verhalten von Deckenkonstruktionen im Feuer  
bei Brandausbreitung von oben nach unten

DK 620. 193. 5

XXI / 157

Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung  
der Technischen Hochschule Braunschweig

"Das Verhalten von Deckenkonstruktionen im Feuer  
bei Brandausbreitung von oben nach unten"

veröffentlicht unter gleichem Titel in  
Betonstein-Zeitung 25 (1959) H. 1/5

von

o.Prof. Dr.-Ing. habil. Th. Kristen

und

Dr.-Ing. H.-J. Wierig

Januar 1959

Die Untersuchungen wurden durchgeführt im Auftrage des  
Niedersächsischen Ministeriums für Wirtschaft u. Verkehr  
Az. II/3 d 24.32

## 1. Allgemeines

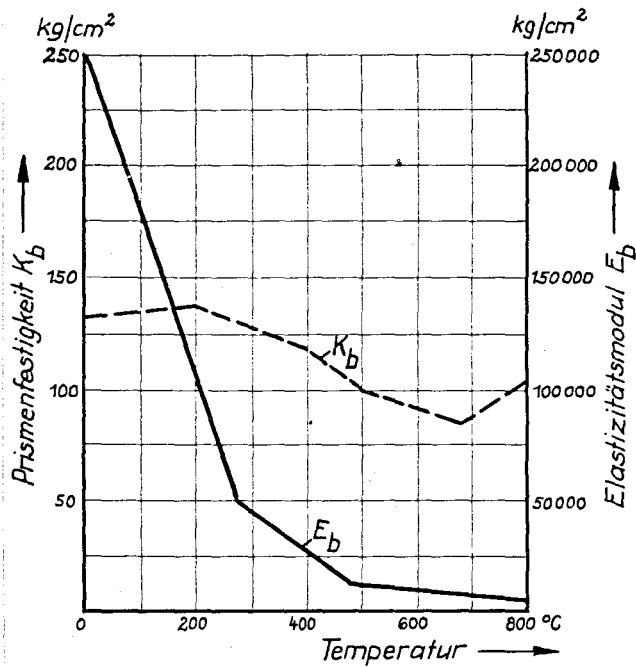
Das Verhalten von Bauteilen bei Feuerbeanspruchung wird in Deutschland nach DIN 4102\*) untersucht. Blatt 3, Abschnitt II dieses Normblattes (Prüfverfahren) fordert, daß Bauteile "in der Art der praktischen Anwendung" in den Brandraum eingebaut werden. Bei der Prüfung von Deckenkonstruktionen wird als selbstverständlich vorausgesetzt, daß die Deckenunterseite durch das Feuer beansprucht wird, weil sich auch in der Praxis bei einem Brand das Feuer infolge des Wärmeauftriebes in der Regel von unten nach oben ausbreitet. Zwar wird dies in der deutschen Norm nicht ausdrücklich erwähnt, geht aber indirekt daraus hervor, daß alle Bauteile belastet zu prüfen sind. In ausländischen Normen, die der DIN 4102 entsprechen, z.B. in der U.S. amerikanischen Norm ASTM E 119 - 54 ist sogar ausdrücklich hervorgehoben, daß die "Beanspruchung der Unterseite der Konstruktion durch das Feuer vorgesehen" ist.

Die Widerstandsfähigkeit einer Stahlbetondecke gegen Feuer hängt bei Brandausbreitung von unten nach oben im allgemeinen von der Erwärmung der Stahleinlagen während des Brandes ab. Wenn die in den Stahleinlagen vorhandene Spannung die Streckgrenze - die bei der Erwärmung stark abfällt - überschreitet, tritt der Zusammenbruch der Konstruktion ein. (vergl. Abb. 1).

Bekanntlich fällt der E-Modul von Beton bei hoher Wärmebeanspruchung stark ab. In Abb. 2 ist die Abhängigkeit des E-Moduls eines Betons der Prismenfestigkeit  $130 \text{ kg/cm}^2$  in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt. Heute werden vielfach Betone höherer Festigkeit und damit, wie aus Abb. 3 zu entnehmen ist, auch höheren E-Moduls verwendet. Es ist nicht bekannt, ob bei allen Betonen der E-Modul, der ja von verschiedenen Faktoren (Betonfestigkeit, Gestein der Zuschlagstoffe, Gebrauchsspannung, Nachbehandlung usw.) abhängig ist, so stark abfällt, wie es die Abb. 2 zeigt. Mit einem gewissen Abfall kann aber in jedem Fall gerechnet werden. Aus diesem Grunde müßten z.B. Betondecken auch

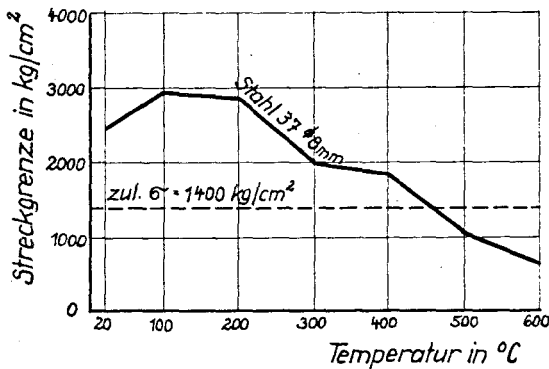
---

\*) DIN 4102 "Widerstandsfähigkeit von Baustoffen und Bauteilen gegen Feuer und Wärme"



<sup>2</sup>  
Abb. 4  
Prismenfestigkeit  $K_b$  und  
E-Modul von Beton in  
Abhängigkeit von der  
Temperatur:

nach H. Busch  
„Feuereinwirkung auf nicht  
brennbare Baustoffe und  
Baukonstruktionen“



<sup>1</sup>  
Abb. 2  
Streckgrenze von St. 37  
in Abhängigkeit von der  
Temperatur

nach „Deutscher Ausschuss  
für Stahlbeton“, Heft 89

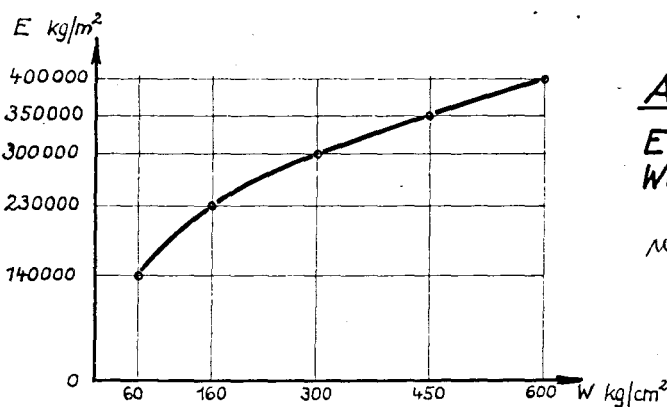


Abb. 3  
Elastizitätsmodul und  
Würfelfestigkeit von Beton  
nach „Rechenhandbuch“

bei Brandausbreitung von oben nach unten durch das Feuer gefährdet sein, da bei Absinken des E-Moduls eine starke Deformation der Decken eintreten wird.

Auch bei Deckenkonstruktionen aus Stahl, die häufig nach oben nur durch verhältnismäßig dünne Stahlbetonfertigplatten abgedeckt sind, ist bisher das Verhalten bei Brandausbreitung von oben nach unten nicht bekannt. Nach DIN 4102 dürfen sich tragende Bauteile aus Stahl um die Begriffe "feuerhemmend", "feuerbeständig" und "hochfeuerbeständig" während des Brandversuches nicht auf mehr als 250°C erwärmen. Um diese Bedingung zu erfüllen, werden Stahl-Deckenkonstruktionen an der Unterseite häufig durch Unterdecken aus neuen Spezialputzen (z.B. Vermiculite, Perlite, Spezialputze auf Faserbasis) geschützt. Auch bei diesen Konstruktionsarten war zu untersuchen, wie die Erwärmung des Stahles vor sich geht, wenn der Brand nicht unter, sondern über der Deckenkonstruktion ausbricht.

Brandversuche an Holzbalkendeckenkonstruktionen mit Brandausbreitung von oben nach unten wurden schon früher im Institut zu Braunschweig durchgeführt\*). Die Versuchsergebnisse zeigten, daß die Widerstandsfähigkeit von Holzbalkendecken gegen Feuer und Wärme in etwa dieselbe ist, ganz gleich ob die Brandausbreitung von unten nach oben oder umgekehrt stattfindet. Diese Versuche konnten aber nicht auf Stahl- bzw. Stahlbetonkonstruktionen übertragen werden. Holz beginnt bei einer bestimmten Temperatur sich zu zersetzen. Die Tragfähigkeit läßt im Gegensatz zu Stahl- und Stahlbetonkonstruktionen aber nicht infolge des Absinkens der Festigkeit oder des E-Moduls, sondern infolge des Abnehmens der Querschnittsabmessungen nach. Außerdem kommt für Holzkonstruktionen in der Regel nur der Begriff "feuerhemmend" in Frage, während Beton- und Stahlkonstruktionen im allgemeinen den Begriff "feuerbeständig" erfüllen sollen.

Um das Verhalten bei Brandausbreitung von oben nach unten festzustellen, wurden Brandversuche an je einer Stahlbeton- und Stahldeckenkonstruktion einem Brandversuch unterzogen.

---

\*) Th. Kristen (Mitarbeiter Blunk und Gaßmann)  
"Feuerschutz von Holzbalkendecken bei Brandausbreitung von oben nach unten". Mai 1954. Forschungsauftrag für das Ministerium für Finanzen u. Wiederaufbau Rheinland-Pfalz

Die Versuche wurden auf Vorschlag des Instituts für Baustoffkunde und Materialprüfung der TH Braunschweig im Auftrag des Niedersächsischen Ministeriums für Wirtschaft und Verkehr durchgeführt.

## 2. Beschreibung der Versuchsdecken

### 2.1 Stahlbetondeckenkonstruktion

Die Versuchsdecke Nr. 1 bestand aus sechs nebeneinanderliegenden Stahlbetonhohldielen nach DIN 4028. Die Abmessungen der einzelnen Dielen betrugen 360 x 33 x 13 cm. Nach Angabe der Herstellfirma handelte es sich um einen Beton B 300. Jede Diele war mit 4 Rundstählen  $\varnothing$  8 mm B.St.I bewehrt. Die Fugen zwischen den einzelnen Dielen wurden mit Zementmörtel M.V. 1 : 4 Rtl. vergossen.

An der Versuchsdecke 1 waren folgende Temperaturmeßstellen angeordnet.

Meßstelle 1-5: An der Unterseite der Deckenkonstruktion, ungefähr gleichmäßig über die Fläche verteilt.

Meßstelle 6: Im Hohlraum der Stahlbetonhohldielen unten.

Meßstelle 7: Im Hohlraum einer Stahlbetonhohldiele oben

Meßstellen 8 An Bewehrungsstählen  
und 9:

Die Lage der Temperaturmeßstellen sowie die Abmessungen und Konstruktion der Versuchsdecke siehe Abb. 4.

### 2.2 Decke aus Stahlträgern mit Abdeckplatten aus Stahlbetonfertigteilen

Die Tragkonstruktion der Versuchsdecke 2 bestand aus zwei nebeneinander liegenden Stahlträgern I 12; der Achsabstand betrug 80 cm.

Nach oben wurde die Versuchsdecke durch 10 Stahlbetonfertigplatten von den Abmessungen 150 x 25 x 6 cm abgeschlossen. Jede Stahlbetonplatte war mit 3 Rundstählen  $\varnothing$  7 mm B.St.IIIb bewehrt. Der Beton entspricht der Güteklasse B 225.

Der untere Abschluß der Decke erfolgte durch eine 9,5 mm dicke Gipskartonplatte. Diese Platte wurde anstelle einer Putzunterdecke gewählt, weil es nicht möglich war, die sehr tief im Brandhaus eingebaute Decke mit einem Putz zu versehen.

An der Versuchsdecke 2 waren zur Temperaturmessung 11 Thermoelemente an folgenden Stellen angebracht.

Meßstelle 1-5: Gleichmäßig verteilt über die Unterseite der Betonabdeckplatten.

Meßstellen 6 : Oberflansch der Stahlträger  
und 7

Meßstellen 8 : Unterflansch der Stahlträger  
und 9

Meßstellen 10 : Oberseite der Gipskartonplatten.  
und 11 :

Die Lage der Temperaturmeßstellen sowie die Abmessungen und die Konstruktion der Versuchsdecke 2 siehe Abb. 5.

### 3. Einrichtung und Durchführung der Versuche

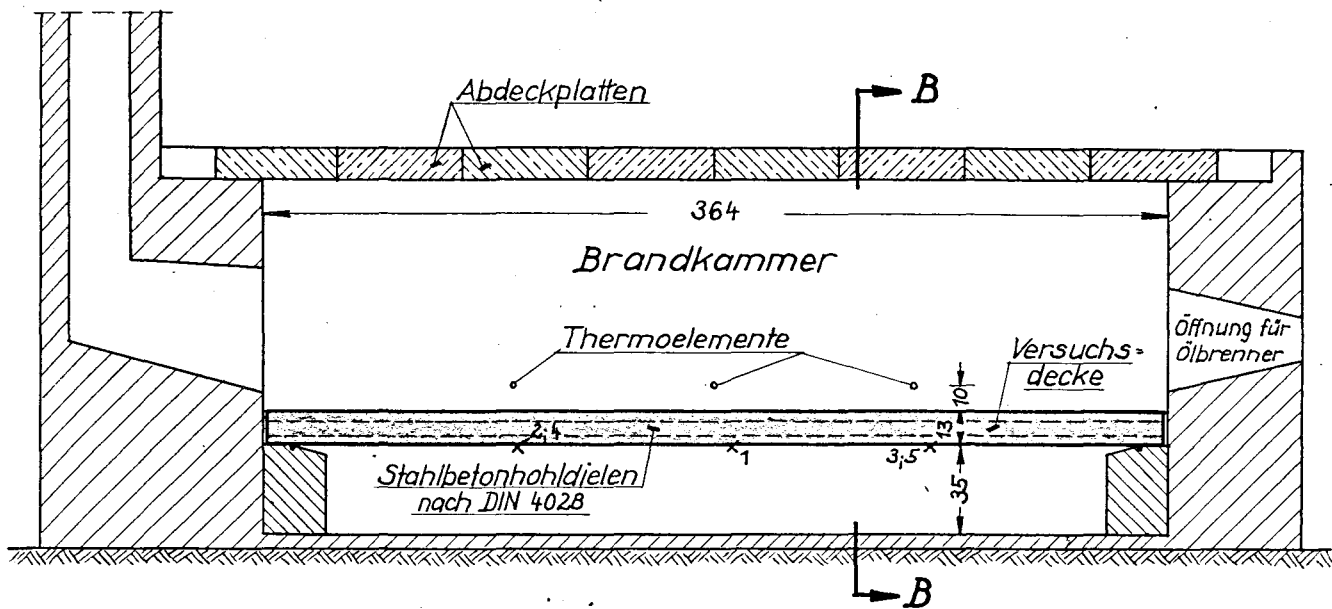
Zur Durchführung der Brandversuche wurden die beiden Versuchsdecken als horizontaler Raumabschluß in etwa ein Drittel Höhe der Brandhäuser eingebaut, siehe Abb. 4 und 5. Die Beheizung fand im oberen Raum der Brandhäuser statt. Um eine zu große Wärmeabstrahlung nach oben zu verhindern, wurden die Brandhäuser während der Versuche oben durch Platten abgedeckt.

Die Temperaturmessung in der Brandkammer erfolgte durch Thermoelemente, die in 10 cm Abstand über den Versuchsdecken angeordnet waren. Geheizt wurde mit Öl.

Während der Brandversuche wurden die Versuchsdecken den Temperaturen nach der Einheitstemperaturkurve DIN 4102, Blatt 3 ausgesetzt. In Abweichung von DIN 4102 waren die Versuchsdecken während der Brandversuche nicht belastet, weil auch in der Praxis eine Decke im allgemeinen nur dann an der Oberseite durch Feuer beansprucht wird, wenn keine Lasten auf ihr stehen. Bei der Versuchsdecke I wurde die

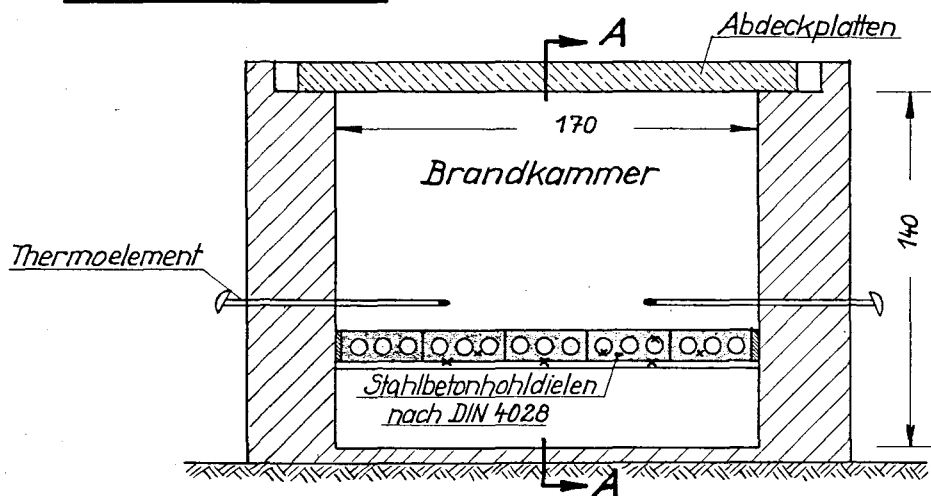
# Längsschnitt A-A

× 1 - × 9 Temperaturmeßstellen

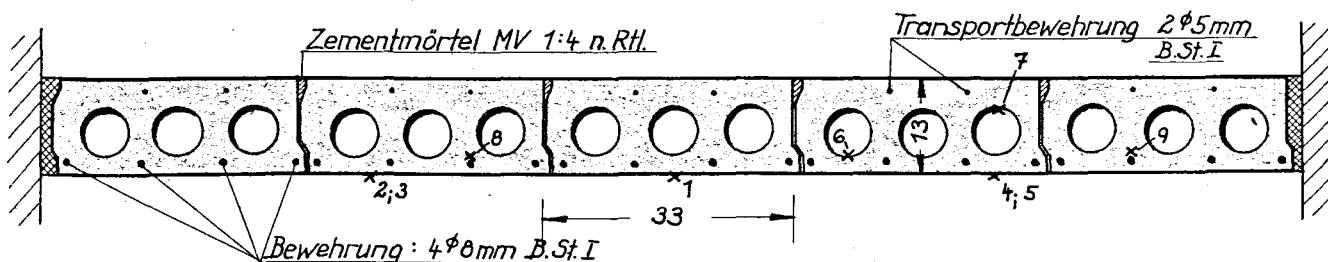


## Querschnitt B-B

M. 1:30



## Querschnitt durch die Versuchsdecke 1 M. 1:10



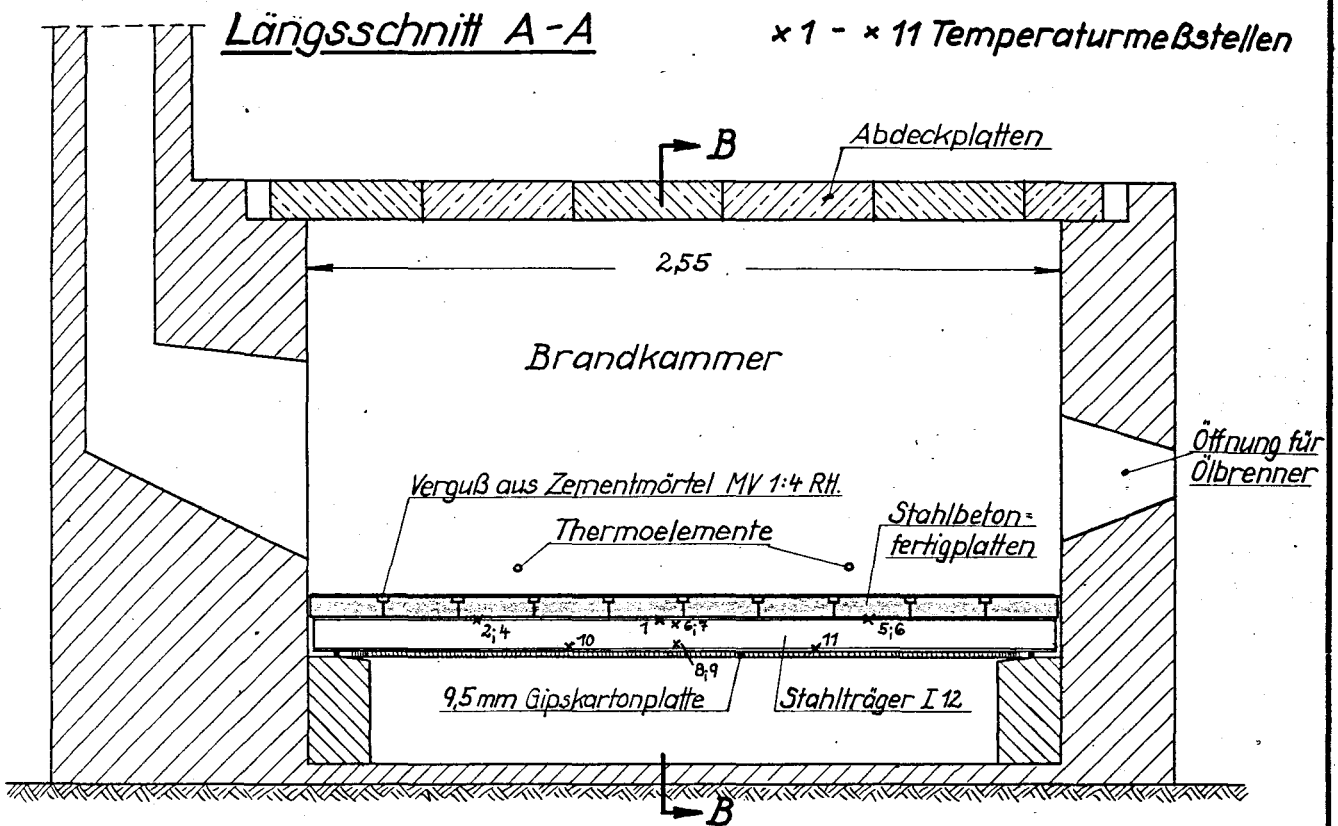
Maße in cm

Institut  
für Baustoffkunde  
und Materialprüfung  
T. H. Braunschweig

Brandversuche an Deckenkonstruktionen  
bei  
Brandausbreitung von oben nach unten

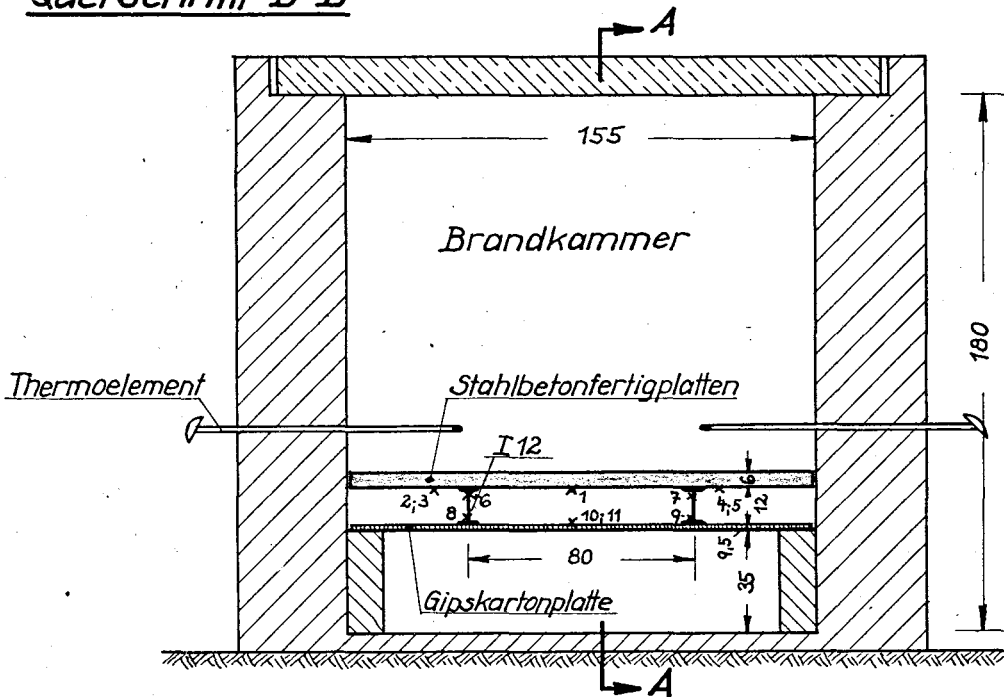
Abb. 4



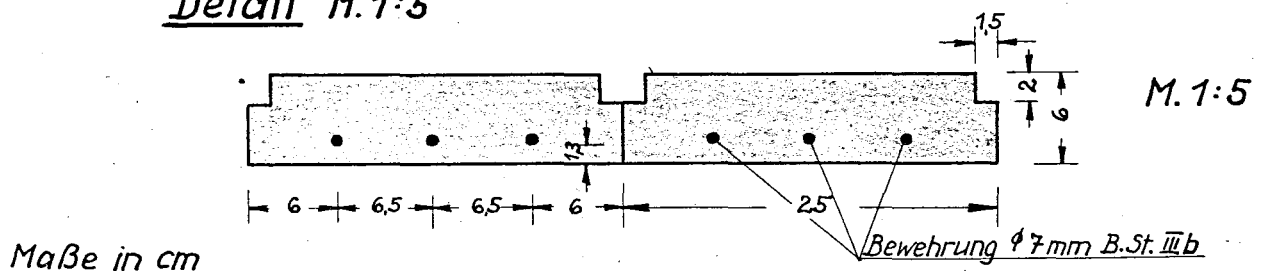


Querschnitt B-B

M. 1:25



Detail M. 1:5



Durchbiegung der Stahlbetonplatten in Feldmitte gemessen. Bei der Versuchsdecke II war die Messung der Durchbiegung der Stahlträger nicht möglich.

Aus den Abb. 4 und 5 ist die Versuchseinrichtung zu ersehen. Die Dauer des Brandversuches betrug bei der Versuchsdecke I 1 1/2 Stunden (feuerbeständig), bei der Versuchsdecke II 3 Stunden (hochfeuerbeständig). Nach dem Brandversuch wurden aus der Versuchsdecke I zwei Stahlbetonhohldielen ausgebaut und dem statischen Bruchversuch unterzogen. Als Vergleich wurde eine fabrikneue Hohldiele ebenfalls bis zum Bruch belastet.

#### 4. Meßergebnisse und Beobachtungen bei den Brandversuchen

In den folgenden Zahlentafeln 1 und 2 sind die Meßergebnisse bei den Brandversuchen zusammengestellt und in den Abb. 6 und 7 graphisch aufgetragen.

Zahlentafel 1

Meßergebnisse an der Versuchsdecke I  
(Stahlbetonhohldielen nach DIN 4028)

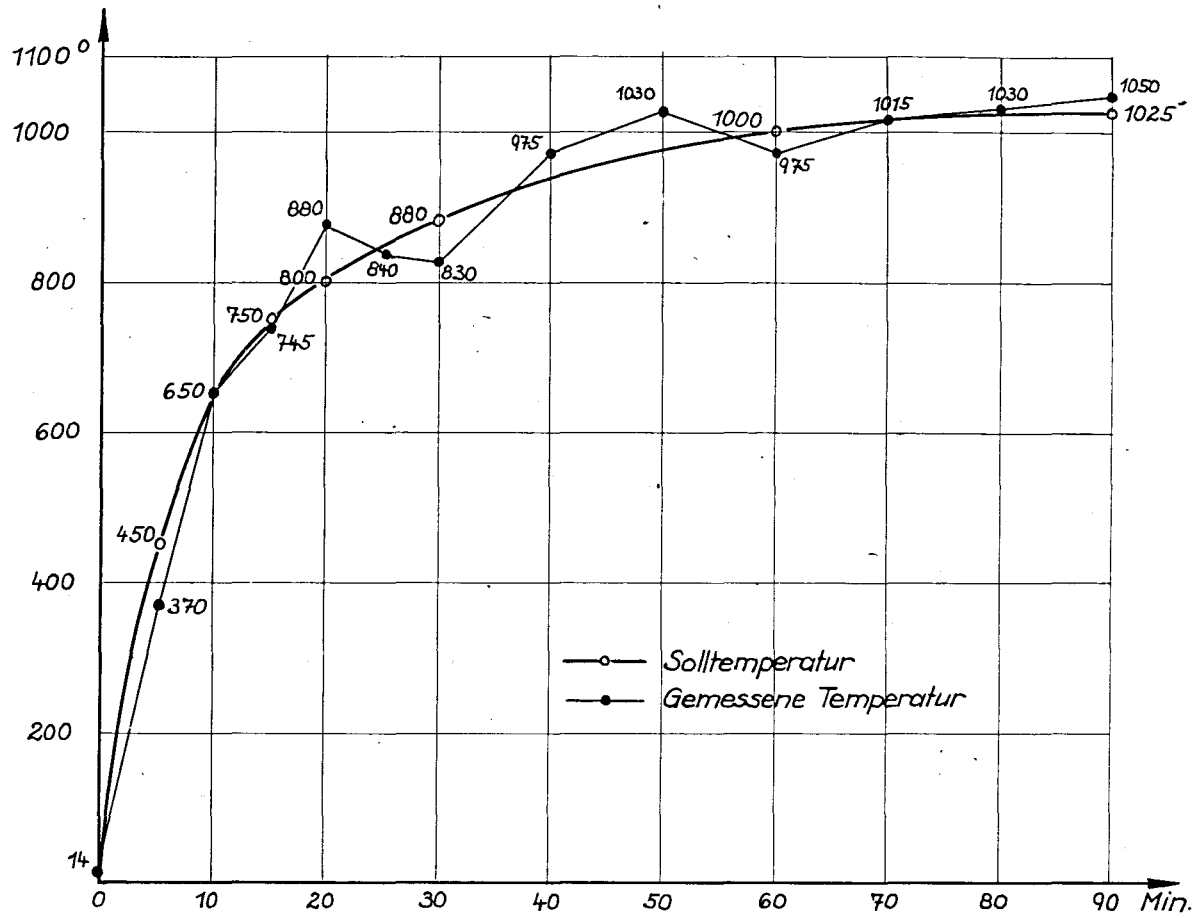
Außenlufttemperatur: 14° C

Ver- suchs- dauer in Min.	Mittl. Temp. i. d. Brand- kammer	Temperatur an der Versuchsdecke in °C									Mittlere Durch- biegung d. Decke mm *)
							im Hohlraum				
		unter der Decke					unten	oben	am Stahl		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
5	370	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-1
10	650	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-1
15	745	-	-	14	-	-	-	36	-	-	-1
20	880	-	-	14	-	-	-	64	-	-	-0,5
25	840	15	14	14	20	16	29	94	16	14	-0,5
30	830	24	19	14	32	21	35	99	23	21	±0
40	975	49	45	35	62	43	68	101	44	47	±0
50	1030	76	72	61	80	67	74	106	67	77	±0
60	975	91	87	88	91	89	95	128	90	98	+1,5
70	1015	98	95	98	98	98	99	204	99	98	+1,5
80	1030	98	96	98	98	98	99	257	99	98	+3
90	1050	99	97	99	99	99	100	311	99	98	+4

\*) Durchbiegung nach oben Vorzeichen -  
Durchbiegung nach unten Vorzeichen +

Die Abb. 8 u. 9 zeigen eine nach dem Brandversuch ausgebaute Hohldiele. In Abb. 8 ist die bleibende Durchbiegung und in Abb. 9 die Zerstörung des Betons an der dem Feuer ausgesetzten Oberfläche gut zu erkennen.

# Temperaturen in der Brandkammer



## Versuchsdecke 1

Mittelwert der Oberflächentemperaturen auf der dem Feuer abgekehrten Seite (Unterseite der Stahlbetonhohldielen)

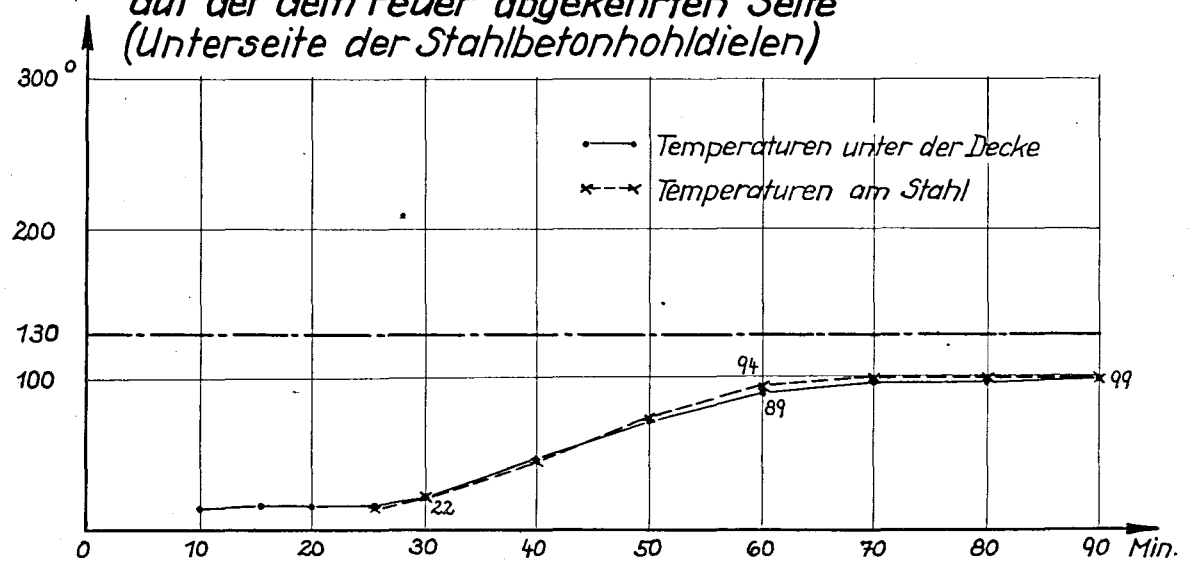


Abb. 7 Stahlbeton-Hohldiele nach dem Brandversuch



Abb. 8 Stahlbeton-Hohldiele nach dem Brandversuch (Detail)



Interessant ist, daß die Versuchsdecke I zu Beginn des Brandversuches infolge der ungleichmäßigen Wärmedehnung zunächst nach oben deformierte. Die dann eintretende Durchbiegung nach unten ist auf das starke Absinken des E-Moduls des Druckzonenbetons zurückzuführen.

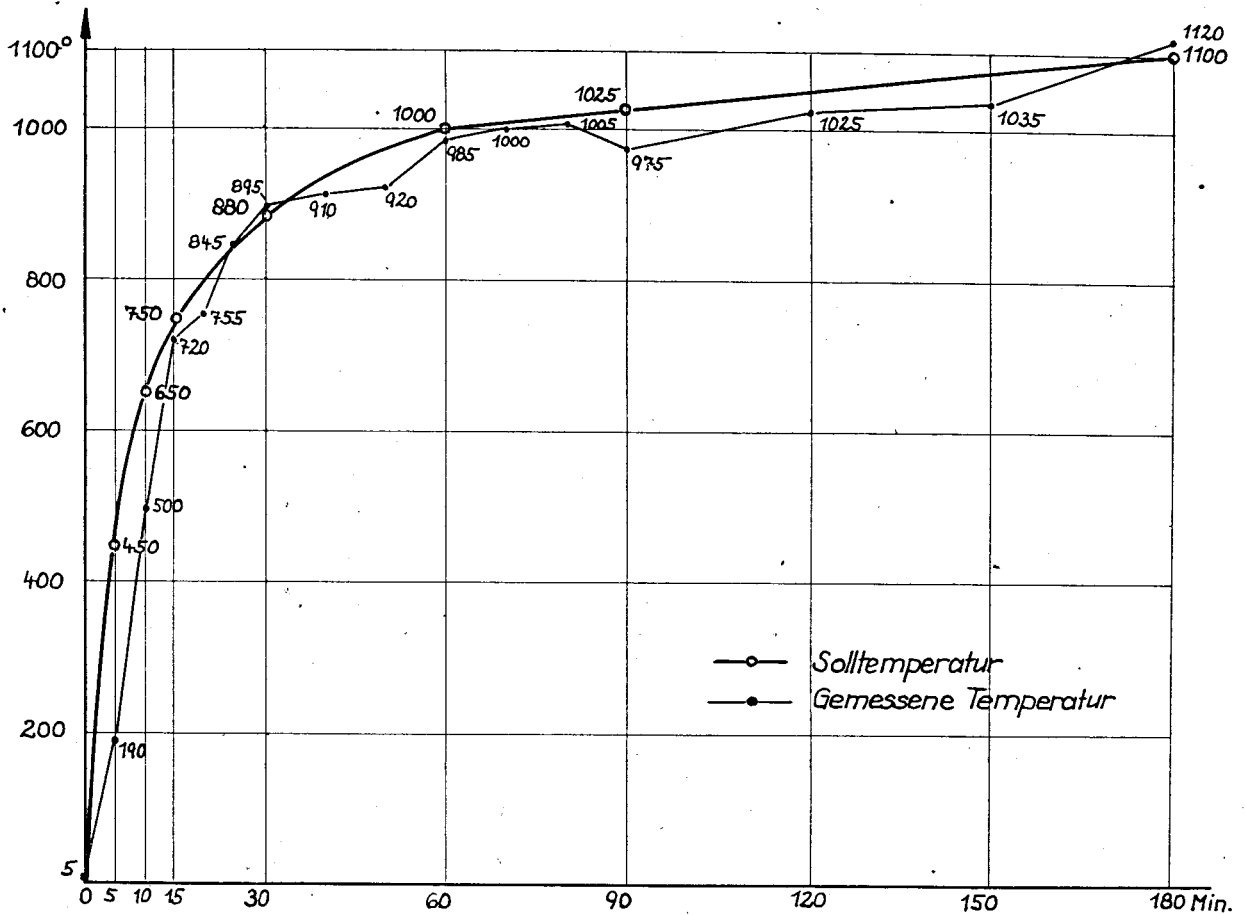
Zahlentafel 2

Meßergebnisse an der Versuchsdecke II  
(Stahlträger mit Stahlbetonabdeckplatten)  
Außenlufttemperatur 5°C

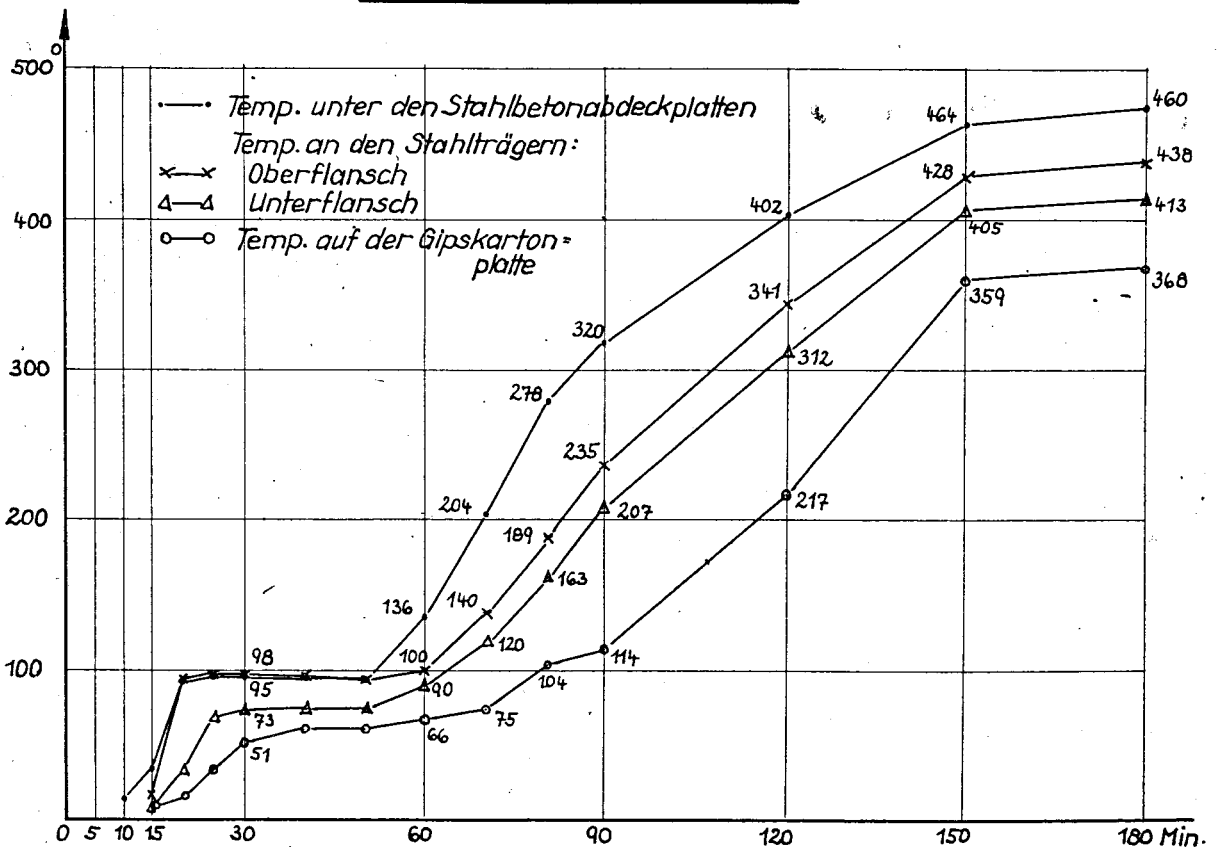
Ver- suchs- dauer in Min.	Mittlere Temp. in der Brand- kammer °C	Temperaturen an der Versuchsdecke in °C									Auf der Gipskarton- platte	
		Unter den Stahlbeton- abdeckplatten					An den Stahlträgern		Ober- flansch			
		1.	2	3	4	5	6	7			8	9
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	500	14	11	15	11	18	-	-	-	*)	-	-
15	720	43	25	35	25	49	12	12	7	-	9	9
20	755	95	95	95	80	95	95	93	33	-	17	17
25	845	95	95	95	96	95	95	99	68	-	35	33
30	895	95	95	95	95	95	96	99	73	-	51	51***
40	910	95	95	95	95	95	96	98	73	-	60	60
50	920	96	97	97	95	96	94	95	73	-	59	60
60	985	135	149	139	129	130	104	95	90	-	65	67
70	1000	211	223	203	183	196	146	133	120	-	76	73
80	1005	283	290	280	267	270	194	183	163	-	109	99
90	975	325	330	321	313	307	239	231	207	-	117	110
105	990	365	370	367	360	349	290	291	263	-	174	151
120	1025	403	406	411	406	382	341	340	312	-	209	224
135	1060	444	449	465	433	419	407	403	378	-	329	289
150	1035	462	474	469	469	446	430	426	405	-	364	353
165	1080	474	472	470	475	453	433	429	407	-	363	379
180	1120	**) )	479	476	481	463	440	435	413	-	365	371

- \*) Thermoelement infolge technischer Störung ausgefallen.  
 \*\*) Außerhalb des Meßbereiches (über 500°C)  
 \*\*\*) Beobachtung: Die Fugen zwischen den Betonabdeckplatten sind gerissen und die Platten in der Mitte leicht nach oben durchgebogen.

## Temperaturen in der Brandkammer



## Versuchsdecke 2

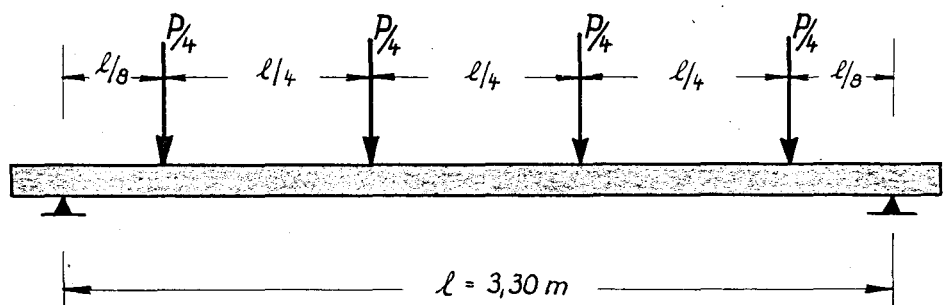


## 5. Untersuchungen an den Versuchsdecken nach dem Brand

### 5.1 Versuchsdecke I

Nach dem Brandversuch wurden aus der Versuchsdecke I zwei Stahlbetonhohldielen ausgebaut und bis zum Bruch belastet. Außerdem wurde von einer Stahlbetonhohldiele der gleichen Lieferung, die nicht dem Brandversuch unterzogen worden war, ebenfalls die Tragfähigkeit geprüft.

Die Belastung erfolgte durch vier Einzellasten. Die Lastangriffspunkte sind aus dem Schema in Abb. 10 zu ersehen.



**Abb.10** Belastungsanordnung bei der Tragfähigkeitsprüfung

Die Last wurde in verschiedenen Laststufen aufgebracht, wobei jede Laststufe etwa  $1/10$  der geschätzten Bruchlast betrug. In Zahlentafel 3 sind die Bruchlasten und Bruchmomente der drei untersuchten Hohldielen zusammengestellt.

Zahlentafel 3

Bruchlasten und Bruchmomente von Stahlbetonhohldielen vor und nach dem Brandversuch.

Bezeichnung	Brandversuch	Rißlast kg*)	Rißmoment mkg	Bruchlast kg	Bruchmoment **)
0	nein	1250	412	1350	575
I 1***	ja	850	248	1150	475
II 2****	ja	750	206	850	350

\*) Auftreten des ersten sichtbaren Risses

\*\*) Der Bruch trat in allen Fällen durch Zerstörung des Betons ein.

\*\*\* ) Hohldiele vom Rand der Versuchsdecke I

\*\*\*\* ) Hohldiele aus der Mitte der Versuchsdecke I

Wie aus Zahlentafel 3 zu ersehen ist, betrug der Abfall des Bruchmomentes bei der Hohldiele I<sub>2</sub>, die aus der Mitte der

gebrannten Versuchsdecke entnommen wurde, gegenüber der ungebrannten Hohldiele fast 40 v. H.

## 5.2 Versuchsdecke II

Die Stahlbeton-Abdeckplatten der Versuchsdecke II nach dem Brandversuch auf Tragfähigkeit zu untersuchen, war nicht möglich, weil sie beim Ausbau nach dem Brandversuch sehr zerstört waren.

## 6. Folgerungen aus den Brandversuchen

Beide Versuchsdecken haben die Anforderungen, die in DIN 4102 an "feuerbeständige" Bauteile gestellt werden, erfüllt, abgesehen davon, daß die rechnerisch zulässige Last nicht vorhanden war.

Die Versuche zeigten andererseits aber deutlich, daß zumindest bei verhältnismäßig schlanken Deckenkonstruktionen auch der Brand von oben nach unten eine Decke scharf beansprucht.

So betrug z.B. die Temperatur an den Stahlträgern der Versuchsdecke II in der 90. Minute nach Beginn des Brandversuches maximal  $239^{\circ}\text{C}$  gegenüber einer nach DIN 4102 zulässigen maximalen Temperatur von  $250^{\circ}$ . Da beim Versuch die niedrigste zulässige Außenlufttemperatur von  $+5^{\circ}\text{C}$  herrschte, kann damit gerechnet werden, daß bei einer höheren Außenlufttemperatur, z.B. der höchstzulässigen von  $+25^{\circ}\text{C}$ , die Stahltemperatur von  $250^{\circ}\text{C}$  überschritten worden wäre.

Bei der Versuchsdecke I ist besonders der Abfall der Tragfähigkeit durch den Brand auffallend. Es ist wahrscheinlich, daß die Tragfähigkeit am Ende des Versuches noch geringer war als sich bei dem Belastungsversuch an der wieder erkalteten Hohldiele I<sub>2</sub> gezeigt hat.

Bei der Beurteilung dieser Versuchsergebnisse für die Praxis muß allerdings berücksichtigt werden, daß die Decken an der Oberfläche in der Regel noch einen Belag haben werden, so daß die Temperaturen an der dem Feuer zugekehrten Seite der tragenden Konstruktion etwas geringer sein dürften.



Außerdem werden bei einem Brand (bei Brandausbreitung von oben nach unten) die Temperaturen in 10 cm Abstand über der Decke wahrscheinlich nur sehr selten die festgelegten Temperaturen der Einheitstemperaturkurve erreichen.

Trotzdem geht aus den Versuchen hervor, daß unter ungünstigen Umständen für die feuertechnische Beurteilung einer Deckenkonstruktion das Verhalten der Decke bei Brandausbreitung auch von oben nach unten ausschlaggebend sein kann.

## 7. Zusammenfassung

Es ist international üblich, bei Brandversuchen an Deckenkonstruktionen das Feuer an der Unterseite der Decke angreifen zu lassen. Durch Versuche sollte festgestellt werden, ob die Brandausbreitung von o b e n nach u n t e n für das feuertechnische Verhalten einer Decke gefährlicher sein kann.

Zu diesem Zweck wurden an zwei verschiedenen Deckenkonstruktionen Brandversuche, bei denen das Feuer von oben nach unten auf die Decken einwirkte, durchgeführt.

Die Versuchsdecke I bestand aus nebeneinanderliegenden Stahlbetonhohldielen nach DIN 4028. Bei der Versuchsdecke II handelte es sich um eine Konstruktion aus Stahlträgern, die nach oben durch Stahlbetonfertigplatten abgedeckt und nach unten durch eine Gipskartonunterdecke abgeschlossen waren.

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß auch ein von oben nach unten wirkender Brand für Deckenkonstruktionen gefährlich werden kann. Besonders auffallend ist das Absinken der Tragfähigkeit der Betonplatten infolge der Veränderung des E-Moduls des Betons.

Bei Stahldeckenkonstruktionen müßte nach den Versuchsergebnissen die obere Abdeckung aus mindestens 5 cm dicken Betonplatten bzw. aus gleichwertigem Material bestehen, wenn die Decke "feuerbeständig" nach DIN 4102 sein soll.